柑橘大实蝇成虫的翅载和额外负载能力

黄秀琴[1], 李正跃[2], 李传仁[1], Gilles BOITEAU[3], 桂连友[1,*]
(1. 长江大学农学院, 湖北荆州 434025; 2. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201;
3. Agriculture and Agri-Food Canada, Potato Research Centre, Fredericton, NB, E3B 4Z7, Canada)

摘要: 对柑橘大实蝇 *Bactrocera* (*Tetradacus*) *minax* (Enderlein)的有效管理受阻于对其成虫运动行为的较少的认识。通过测定其成虫翅载能力和忍受额外负载重量的能力,从而确定其成虫所携带不同的额外负载的电子标签重量对其正常起飞的影响程度,为制作合适的昆虫谐波雷达的电子标签提供技术参数。其雌雄成虫的翅载能力并没有随着成虫个体重量增加而降低,也没有因为性别不同而存在差异。成虫经过正常取食和饥饿(只喂清水)变化处理,其成虫平均净载重量约为 11 mg。来自网室成虫忍受额外负载试验结果表明,成虫额外负载 7.3 mg 重量或为占其自身体重大约 23% 重量对于其向上起飞行为有较少或没有直接的影响。结果进一步表明,在确定昆虫谐波雷达技术跟踪其成虫携带的电子标签适合性时,选择的电子标签的重量不能超过 7.3 mg。

关键词: 柑橘大实蝇; 昆虫谐波雷达; 标签; 翅载; 额外负载; 飞行能力
中图分类号: Q965 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2012)05-0606-06

Wing loading and extra loading capacity of adults of the Chinese citrus fruit fly, *Bactrocera* (*Tetradacus*) *minax* (Diptera: Tephritidae)

HUANG Xiu-Qin[1], LI Zheng-Yue[2], LI Chuan-Ren[1], Gilles BOITEAU[3], GUI Lian-You[1,*] (1. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China; 2. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 3. Agriculture and Agri-Food Canada, Potato Research Centre, 850 Lincoln Road, P. O. Box 20280, Fredericton, NB, E3B 4Z7, Canada)

Abstract: Effective management of the Chinese citrus fruit fly, *Bactrocera* (*Tetradacus*) *minax* (Enderlein) (Diptera: Tephritidae), is hindered by a lack of knowledge about its movements. By measuring the wing loading and extra loading capacity of adults of the Chinese citrus fruit fly, we determined the effect of weight of extra loading electronic tags on the ratio of upward to downward flights of flies, in order to provide technical parameters for making the feasibility of electronic tag for tracking natural movement of *B. minax* using harmonic radar technology. The wing loading of the Chinese citrus fruit fly was found not to decrease with increasing size over a wide range of individual sizes and independent of sex. The results indicate that an average wing loading of adults of Chinese citrus fruit fly is about 11 mg after normal food uptake alternated with food deprivation (only water is supplied). It is estimated from our results in a large screened cage that 7.3 mg (representing about 23% of adult's weight) extra loading for the technique has no or minimal impact on the number of upward flights of adults of Chinese citrus fruit fly. The results further suggest that when we determine the feasibility of tags for the tracking of natural movement of *B. minax* using harmonic radar technology, the weight of electronic tags should be no more than 7.3 mg.

Key words: *Bactrocera* (*Tetradacus*) *minax*; insect harmonic radar; tag; wing loading; extra loading; flight performance

柑橘大实蝇 *Bactrocera* (*Tetradacus*) *minax* (Enderlein)是主要分布于我国的柑橘类重要害虫,是国家公布对外检疫对象之一,曾经也是国家公布的对内检疫对象。近几年来,对我国的柑橘产业造成了巨大威胁(汪兴鉴和罗禄怡, 1995)。由于对其成虫回园规律、成虫取食的天然食物源种类、性质

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903047-7)
作者简介: 黄秀琴, 女, 1987 年生, 湖北远安人, 硕士研究生, 主要从事农业害虫综合防治研究, E-mail: huangxiuqin2007@163.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: guilianyou@yahoo.com.cn; guilianyou@126.com
收稿日期 Received: 2011-10-18; 接受日期 Accepted: 2012-04-11

和地点、取食过程及其机理仅有零星且模糊的认识，严重地影响了该害虫的预测预报和综合治理技术开发和应用。作者于 2012 年 1 月从加拿大引进了中国的第 1 台昆虫谐波雷达（Gen Ⅳ），目的是通过使用昆虫谐波雷达技术手段，采用电子标签-释放-跟踪方法，研究柑橘大实蝇成虫在橘园内和在橘园与附近生境之间的迁移规律以及寻找该成虫的天然食物源的种类、性质和地点。

昆虫谐波雷达是一种良好的跟踪昆虫运动的技术。昆虫谐波雷达的基本原理是利用昆虫谐波雷达系统（Harmonic Radar Transceiver）的发射天线发射出一种高功率的脉冲电磁波，待检测的目标昆虫体上绑有一个很小的电子标签（tag），该装置能够吸收雷达波束中的能量，并将输入信号调制为谐波后再发射回去。昆虫谐波雷达系统的接收天线即可屏蔽地物回波，从而将该反射回来的另一种脉冲电磁谐波检测出来。通过相位比较测量出目标回波的相位和幅度，相对于空间、时间和频率的变化率而言，至少应包含有关目标角度、径向速度、距离、形状、自旋和尺寸等信息（翟保平，1999；蔡志坚和曾理江，2002；Boiteau and Colpitts，2004）。因为电子标签被粘在昆虫身体上，在研究一些体型微小、重量较轻的昆虫时，要求电子标签重量极轻和体积微小，对昆虫正常飞行行为有较小或无影响。电子标签的制造是昆虫谐波雷达系统中最关键的技术之一。其制造技术含金量高，原材料由无感超细金属丝、肖特二极管、导电胶和非导电的超强粘胶组成。电子标签重量一般不超过昆虫体重 10%，但也有昆虫（如马铃薯叶甲 *Leptinotarsa decemlineata*）电子标签占本身体重的 14.7%（Klempel，1977；Mascanzoni and Wallin，1986；Riley *et al.*，1996；桂连友等，2011；Gui *et al.*，2011，2012；Boiteau *et al.*，2011a，2011b）。

利用昆虫谐波雷达追踪柑橘大实蝇的成虫运动行为之前，需要选择合适的电子标签。本研究的目的是通过测定柑橘大实蝇成虫翅载能力（昆虫体重除以其翅面积的比率）和忍受额外负载重量的能力，从而确定其成虫所携带不同的额外负载的电子标签重量对其正常起飞的影响程度，为制作合适的昆虫谐波雷达的电子标签提供技术参数。

1　材料与方法

柑橘大实蝇成虫在羽化后 2－3 d 才能够具有正常飞行行为。在利用昆虫谐波雷达追踪柑橘大实蝇的成虫运动行为时，电子标签是垂直粘贴在羽化后 2－3 d 的成虫的前胸背部。

1.1　供试昆虫

供试昆虫是柑橘大实蝇 *Bactrocera*（*Tetradacus*）*minax* Enderlein 成虫。于 2010 年 10 月 15 日从湖北省松滋市田间采回柑橘落果，埋在厚度为 5～7 cm 的沙层中，当年 11 月 6 日幼虫化蛹，翌年 5 月 19 日蛹羽化出成虫，将羽化的成虫每天分批置于室内不同的养虫笼（木制框架，白色尼龙网覆盖的昆虫笼，体积为 35 cm×35 cm×35 cm，网孔直径为2 mm）中饲养，每天喷清水 3～4 次，用滤纸浸取 10% 蜂蜜水放在直径为 10 cm 的培养皿中饲养，每天更换浸取 10% 蜂蜜水的滤纸 2 次。室内平均温度为 20±1℃，RH 65%～80%，光周期 14L∶10D，饲养 2～3 d 后成虫作为供试虫源。供试虫数为 860 头，雌雄比为 1∶1。

1.2　柑橘大实蝇成虫的测试起飞方法

起飞测试是在室外网室（3 m 长×2 m 宽×2 m 高）内进行，温度为 20～29℃，RH 65%，光照为自然光，测试时间在 9:00－11:30 进行。将单个粘有标签的或没有粘标签的柑橘大实蝇成虫置于离地面高 1 m、顶部面积 9 cm^2（3 cm×3 cm）的木桩上释放，测试起飞时间为 1 min，成虫降落的落点离地面等于或高于 1 m 的位置，则判定该成虫为能够起飞。假如该成虫在 1 min 之内降落的落点离地面低于 1 m 的位置，则判定该成虫为未起飞的成虫；假如成虫在 1 min 之内不能起飞，则用毛笔尖轻轻地进行挑拨鼓励，若在之后的 1 min 内还不能起飞，则被判定该成虫为未起飞的成虫。

1.3　柑橘大实蝇成虫的翅载能力试验

翅载试验参考 Boiteau 和 Colpitts（2001）剥夺食物（饥饿）方法进行。取上述供试昆虫成虫（2 日龄）雌雄各 40 头分别装入已编号的 80 个透明的塑料瓶（直径 8 cm，高 14 cm）中饲养，塑料瓶底部钻直径为 3 mm 的小孔 2 个，以便于塑料瓶内外交换新鲜空气。成虫在养虫室内饲养，室内平均温度为 20±1℃，RH 65%，光周期为 14L∶10D。测试起飞按上述 1.2 方法进行。测试时分别两次正常喂食和两次剥夺取食，测试共进行 4 次，顺序是：将 2 日龄成虫饥饿 24 h 后第 1 次测试-取食 24 h 后第 2 次测试-又饥饿 24 h 后第 3 次测试-取食 24 h 后第 4 次测试，然后将其一对前翅剪下，并编号装入小瓶（直径 1 cm，高 5 cm）中；成虫单个翅面积是采用坐

标纸法(1 mm^2/格)测定并记录。每次测试后，不能起飞成虫被淘汰，能够起飞的成虫进行称重并记录，然后置于原来塑料瓶中，接着放入浸有 10% 蜂蜜水的滤纸(3 cm × 3 cm)继续饲养或者饥饿处理(只喷清水不喂食)。每头柑橘大实蝇雌雄成虫的最高和最低重量分别是该成虫 4 次称重中最高值和最低值。雌雄成虫各有 30 个最高和最低重量值。

1.4 柑橘大实蝇成虫的额外负载起飞能力试验

标准电子标签包括无感镀铜-钢(AWG#34)超细金属铜丝(中间绕一个直径为 1.0 mm 的圆环)、肖特二极管(重量 < 0.1 mg)、导电胶和非导电粘胶。为了节省试验经费，肖特二极管不包括在内，用同样重量的回形针代替电子标签。在替代标签的制作时，首先将回形针(28 mm/个)拉直，然后截成若干长度，最后在电子天秤上称重，分别取 5，7 和 9 mg 重量各 130 个，共 390 个。分批取上述供试 3 日龄成虫 780 头，每个额外负载成虫处理各需 130 头，其余 390 头作为相应的对照成虫。用 Instant Krazy Glue 非导电粘胶(> 70% ethyl-2-cyanoacrylate by weight, Elmer's Product Canada, Scarborough, Ontario)将标签垂直粘贴在相对应的柑橘大实蝇成虫的前胸背板上，每粘一只标签需要耗非导电粘胶 0.3 mg，即成虫额外负载重量分别为 5.3，7.3 和 9.3 mg。

额外负载重量为 5.3，7.3 和 9.3 mg 3 种成虫(处理)与相对应未额外负载重量的性别相同的成虫(对照)成对随机取出，每个处理的额外负载试验中的额外负载和未额外负载的成虫雌雄性比均为 1∶1，按上述 1.2 方法同批次进行起飞测定试验。每天试验分 3 ~ 4 批次，当天粘有标签的成虫当天试验完毕，参加试验后的所有额外负载的和未额外负载的成虫均不能重复参加下一次试验，全部试验 5 d 内做完，并记录每次起飞的和未起飞的成虫数(Boiteau and Colpitts, 2001)。

1.5 数据处理与分析

试验所有的数据采用 DPS 数据处理系统进行分析(唐启义和冯明光，2002)。柑橘大实蝇雌雄成虫的最高、最低体重、翅载能力差值分别与翅面积的关系采用线性相关关系分析；在翅载试验中的柑橘大实蝇成虫的翅面积、体重、翅载净重、翅载能力最高值、最低值和差值的差异显著性采用 Student's *t* 检验。在额外负重起飞试验中观测值和对照值的起飞成虫数量和未起飞成虫数量差异显著性采用卡方检验(Chi-square)。

2 结果与分析

2.1 柑橘大实蝇成虫的翅载能力

由表 1 结果表明，柑橘大实蝇雌成虫的翅面积大于与雄成虫，其差异性极为显著($n = 30$, $t = 3.471$, $df = 58$, $P = 0.001$)。柑橘大实蝇成虫的翅面积变化较大，范围在 40.0 ~ 64.0 mm^2 之间。柑橘大实蝇雌成虫翅的净载重量与雄成虫之间差异性不显著($n = 30$, $t = 0.785$, $df = 58$, $P = 0.436$)。成虫翅的净载重量变化较大，范围在 2.5 ~ 21.4 mg 之间。柑橘大实蝇雌成虫的翅载净载倍数变化较大，范围在 0.0520 ~ 0.6993 之间。柑橘大实蝇雌雄成虫的翅载能力的最高值(正常取食)分别与最低值(饥饿状态)之间差异性均极显著(雌虫：$n = 30$, $t = 6.550$, $df = 58$, $P = 0.0001$；雄虫：$n = 30$, $t = 5.990$, $df = 58$, $P = 0.0001$)。但柑橘大实蝇雌成虫的翅载差值与雄成虫之间差异性不显著($n = 30$, $t = 0.059$, $df = 58$, $P = 0.953$)。结果还表明，成虫翅载能力差值平均为 0.208 mg/mm^2，平均净载重量约为 11 mg，约占其平均体重的 23%，最高占 69.93%。

2.2 柑橘大实蝇成虫的体重与其前翅面积之间的关系

图 1(A)结果表明，柑橘大实蝇雌成虫的最高体重与其前翅面积之间线性相关性不明显($y = 34.71 + 0.35x$, $r = 0.328$, $r_{28,\,0.05} = 0.367$, $P > 0.05$)；柑橘大实蝇雌成虫的最低体重与其前翅面积之间线性相关性不明显($y = 23.37 + 0.35x$, $r = 0.282$, $r_{28,\,0.05} = 0.367$, $P > 0.05$)。

图 1(B)结果表明，柑橘大实蝇雄成虫的最低体重与其前翅面积之间线性相关性不明显($y = 26.06 + 0.47x$, $r = 0.351$, $r_{28,0.05} = 0.367$, $P > 0.05$)；柑橘大实蝇雄成虫的最低体重与其前翅面积之间线性相关性不明显($y = 20.22 + 0.39x$, $r = 0.314$, $r_{28,\,0.05} = 0.367$, $P > 0.05$)。

图 2(A，B)结果表明，柑橘大实蝇雌成虫翅的净载重量与其前翅面积之间线性相关性不明显($y = 11.34 + 0.004x$, $r = -0.004$, $r_{28,\,0.05} = 0.367$, $P > 0.05$)；柑橘大实蝇雄成虫翅的净载重量与其前翅面积之间线性相关性不明显($y = 5.84 + 0.088x$, $r = 0.086$, $r_{28,\,0.05} = 0.367$, $P > 0.05$)。这进一步表明，柑橘大实蝇雌雄成虫的翅载能力并没有随着成虫个体重量增加而降低，也没有因为性别不同而存在差异。

表 1　柑橘大实蝇成虫的翅载能力

Table 1　Wing loading capacity of the adult Chinese citrus fruit fly, *Bactrocera* (*Tetradacus*) *minax*

性别 Sex	翅面积 Wing area (mm^2)	体重 Body weight (mg)		净载重量 Net loading weight (mg)	净载倍数(净载重量/体重) Ratio of net wing loading (net loading weight/body weight)		翅载能力(mg/mm^2) Wing loading capacity		
		最高 Max	最低 Min		平均 Mean	范围 Range	最高 Max	最低 Min	差值 Net
雌虫 Female	53.9 ± 1.0 A	53.6 ± 1.1 a	42.4 ± 1.3 a	11.1 ± 1.6 a	0.232	0.052 – 0.699	1.00 ± 0.12 A	0.79 ± 0.02 B	0.209 ± 0.032 a
雄虫 Male	49.2 ± 0.9 B	49.4 ± 1.2 b	39.2 ± 1.1 a	10.1 ± 1.6 a	0.229	0.061 – 0.423	1.01 ± 0.03 A	0.80 ± 0.02 B	0.207 ± 0.035 a

试验成虫数雌雄各 30 头。表中数据为平均值 ± 标准误，表中同一列不同小写和大写字母分别表示差异显著($P < 0.05$, t-检验)和差异极显著($P < 0.01$, t-检验)，但在成虫翅载能力最高值和最低值之间是同一行比较。$n = 30$ for adults of each sex. Data in the table are mean ± SE, and those followed by different lowercase and capital letters in the same column are significantly ($P < 0.05$, t-test) and extremely significantly different ($P < 0.01$, t-test), respectively; the comparison between the maximun and minimun of wing loading capacity of adults, however, is conducted in the same row.

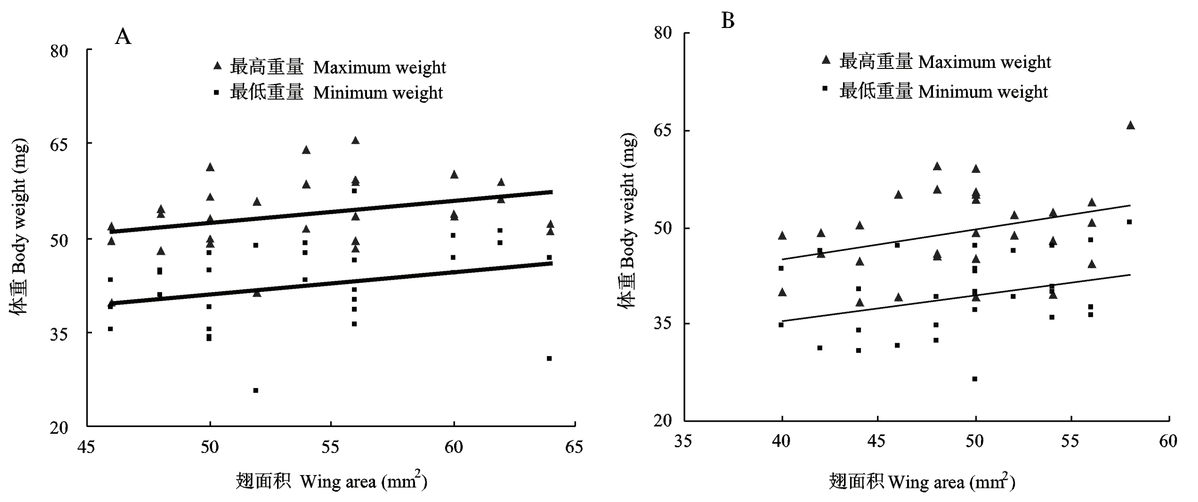


图 1　30 头柑橘大实蝇雌(A)、雄(B)成虫最高重量和最低重量与其翅面积的关系

Fig. 1　Relationship between the maximum weight of individuals, minimum weight of individuals and total wing area for thirty female (A) and male adults (B) of the Chinese citrus fruit fly, *Bactrocera* (*Tetradacus*) *minax*

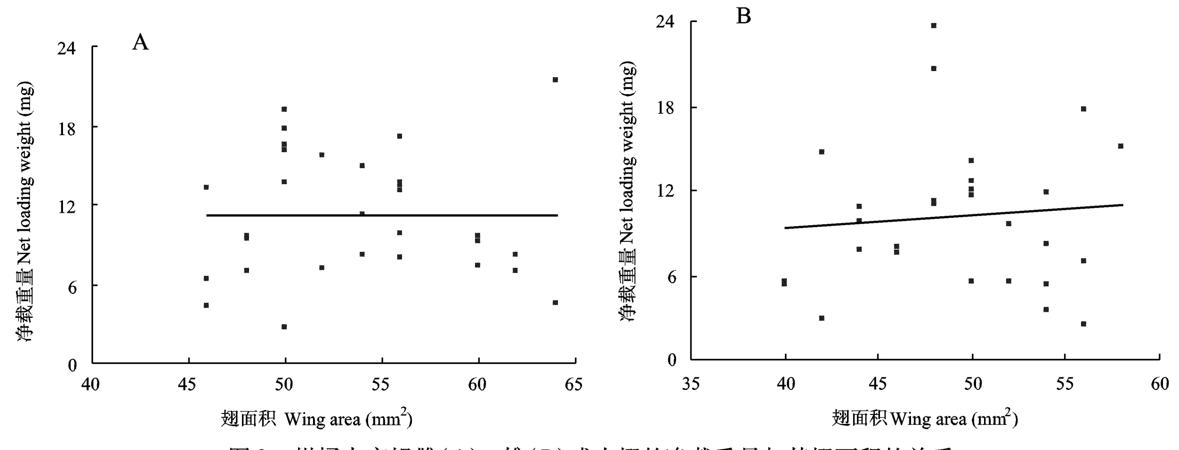


图 2　柑橘大实蝇雌(A)、雄(B)成虫翅的净载重量与其翅面积的关系

Fig. 2　Relationship between wing loading net (the maximum minus minimum) weight of individuals and total wing area of female (A) and male adults (B) of the Chinese citrus fruit fly, *Bactrocera* (*Tetradacus*) *minax*

2.3 柑橘大实蝇成虫的额外负载飞行能力

表 2 结果表明，柑橘大实蝇成虫额外负载重量为 5.3 mg 标签时，正常起飞与未起飞成虫数之间差异不显著 $\chi^2 = 2.311$，$df = 1$，$P = 0.1285$)，这表明额外负载重量为 5.3 mg 标签对成虫起飞没有影响。柑橘大实蝇成虫额外负载重量为 7.3 mg 标签时，正常起飞与未起飞成虫数之间差异不显著 $\chi^2 = 3.770$，$df = 1$，$P = 0.0522$)，这表明额外负载重量为 7.3 mg 标签对成虫起飞没有影响。而柑橘大实蝇额外负载重量为 9.3 mg 标签时，正常起飞与未起飞成虫数之间差异极显著 $\chi^2 = 127.464$，$df = 1$，$P = 0.0001$)，这表明额外负载重量为 9.3 mg 标签的柑橘大实蝇成虫不能正常起飞。

表 2 柑橘大实蝇成虫的额外负载对其飞行的影响

Table 2 Effect of extra loading weight on the ratio of upward to downward flights of the adult Chinese citrus fruit fly, *Bactrocera* (*Tetradacus*) *minax*

试验 Test	额外负量(mg) Extra loading weight	统计 Statistic	起飞成虫数(头) Number of upward flights	未起飞成虫数(头) Number of downward flights	总虫数(头) Number of total flights	χ^2	P
1	5.3	观测值 Observed	66	50	116	2.311	0.1285
	0.0	对照 CK	67	33	100		
2	7.3	观测值 Observed	54	69	123	3.770	0.0522
	0.0	对照 CK	57	43	100		
3	9.3	观测值 Observed	13	107	120	127.464	0.0001
	0.0	对照 CK	96	24	120		

3 讨论

在不同的越冬环境下羽化的同性或不同性别柑橘大实蝇成虫个体体重之间存在一定的差异，雌成虫体重极显著高于雄成虫，雄成虫比雌成虫轻大约 12%，但其体重并没有随着成虫的日龄增加而增长 (Gui *et al*., 2011)。本研究结果表明，柑橘大实蝇雌雄成虫之间翅面积也存在极显著差异，雄成虫翅比雌成虫小大约 8.7% 面积；雌雄成虫的最高、最低体重和翅的净载重量分别与其前翅面积之间的线性相关性均不显著；雌雄成虫之间的翅载净重和翅载能力差异不明显。进一步表明，这样有可能同样重量的电子标签适合于所有的体重不同的成虫，或者认为假如一头成虫负载一只较轻的电子标签并没有影响它的飞行能力，那么所有的同种成虫负载一只相同的电子标签均不影响它的飞行能力。

Dudley (2000) 研究认为，很多昆虫负载重量可以达到自身体重的 0.5 ~3 倍。本研究是在实验室条件下通过采用两次正常取食和两次剥夺食物方法测定其成虫平均净载重量约为 11 mg，这可能不是在田间的柑橘大实蝇成虫的平均净载重量，如雌虫在怀卵时，需要更大的平均净载重量。但可以初步推测柑橘大实蝇不同性别的成虫额外负载低于 11 mg 重量可能对其起飞能力有较少或无影响。因为成虫翅净载重量与额外负载重量在昆虫身体部位的分布是不同，因而昆虫体重重心位置也不同，成虫是否能够正常起飞，还需要做成虫的忍受额外负载试验。

目前对柑橘大实蝇的起飞条件如天气、温湿度、光照、风向、风速等认识不足。在成虫忍受额外负载试验设计时，额外负载成虫需要与相对应未额外负载的成虫成对分 3 ~4 批随机取出，在固定时间内同批进行起飞测定试验，这样尽可能将试验误差降到最低。试验假定未额外负载的成虫向上飞行数量与向下飞行的数量比率与额外负载的成虫向上飞行数量与向下飞行的数量比率没有明显差异，则认为成虫额外负载该重量对其起飞能力有较少或

没有影响。本研究结果表明，未额外负载的柑橘大实蝇成虫向上飞行数量与向下飞行的数量比率是变化的，在1.3∶1～4.0∶1之间；额外负载7.3 mg重量的成虫对其起飞能力有较少或无影响，但成虫额外负载9.3 mg重量不能够起飞。Gui等(2011)研究表明，长21 mm、重3.8 mg、占平均成虫体重8%的电子标签对柑橘大实蝇的正常飞行行为没有明显的影响。本研究结果进一步表明，在昆虫谐波雷达追踪柑橘大实蝇成虫运动行为时，成虫负重3.8 mg电子标签，不会影响其正常飞行能力。

是不是额外负载试验证明柑橘大实蝇成虫能够忍受额外负载7.3 mg重量后，就能表明绑在昆虫身体上不超过7.3 mg重量的电子标签对其成虫起飞行行为有较少或无影响呢？或者表明选择7.3 mg重量的电子标签就是田间昆虫谐波雷达跟踪试验的最合适的电子标签呢？这还需要进行下一步的电子标签适合性试验确定。因为一只理想的昆虫电子标签应该满足如下的特性：足够时间内不脱落、便宜、粘胶无毒、使用简单和不影响昆虫的正常行为(Hagler and Jackson, 2001)。因此，常常是最合适的电子标签的重量小于最大的忍受额外负载重量。不同的昆虫在选择电子标签的重量常常因昆虫种类不同而不同。在评估某种昆虫适合的电子标签的试验时，假如知道某种昆虫额外负载重量参数，将缩短试验时间、减少供试成虫数量和节省试验费用。

参考文献(References)

Boiteau G, Colpitts B, 2001. Electronic tags for the tracking of insects in flight: effect of weight on flight performance of adult Colorado potato beetles. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 100: 187－193.

Boiteau G, Colpitts B, 2004. The potential of portable harmonic radar technology for the tracking of beneficial insects. *International Journal of Pest Management*, 50(3): 233－242.

Boiteau G, Vincent C, Meloche F, Leskey TC, Colpitts BG, 2011a. Evaluation of tag entanglement as a factor in harmonic radar studies of insect dispersal. *Environmental Entomology*, 40(1): 94－102.

Boiteau G, Vincent C, Meloche F, Leskey TC, Colpitts BG, 2011b. Harmonic radar: efficacy at detecting and recovering insects on agricultural host plants. *Pest Management Science*, 67(2): 213－219.

Cai ZJ, Zeng LJ, 2002. Tracking technologies for insects movement. *Optical Technique*, 28(3): 217－219. [蔡志坚，曾理江，2002. 昆虫运动的跟踪技术. 光学技术，28(3): 217－219]

Dudley R, 2000. The Biomechanics of Insect Flight. Princeton University Press, New Jersey, USA.

Gui LY, Boiteau G, Colpitts BG, MacKinley P, McCarthy PC, 2012. Random movement pattern of fed and unfed adult Colorado potato beetles in bare-ground habitat. *Agricultural and Forest Entomology*, 14(1): 59－68.

Gui LY, Huang XQ, Li CR, 2011. The development and the use of insect harmonic radar. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 732－738. [桂连友，黄秀琴，李传仁，2011. 昆虫谐波雷达的发展和利用. 应用昆虫学报，48(3): 732－738]

Gui LY, Huang XQ, Li CR, Boiteau G, 2011. Validation of harmonic radar tags to study movement of Chinese citrus fly. *The Canadian Entomologist*, 143(4): 415－422.

Hagler JR, Jackson CG, 2001. Methods for marking insects: current techniques and future prospects. *Annual Review of Entomology*, 46: 511－543.

Klempel DD, 1977. A Harmonic Radar for Tracking Individual Insects. MSc Thesis, State University of North Dakota, Fargo, North Dakota, USA.

Mascanzoni D, Wallin H, 1986. The harmonic radar: a new method of tracing insects in the field. *Ecological Entomology*, 11: 387－390.

Riley JR, Smith AD, Reynolds DR, Edwards AS, Osborne JL, Williams IH, Carreck NL, Poppy GM, 1996. Tracking bees with harmonic radar. *Nature*, 379: 29－30.

Tang QY, Feng MG, 2002. DPS Data Processing System for Practical Statistics. Science Press, Beijing. [唐启义，冯明光，2002. 实用统计分析及其DPS数据处理系统. 北京：科学出版社]

Wang XJ, Luo LY, 1995. Research progress in the Chinese citrus fruit fly. *Entomological Knowledge*, 32: 310－315. [汪兴鉴，罗禄怡，1995. 柑橘大实蝇的研究进展. 昆虫知识，32: 310－315]

Zhai BP, 1999. Tracking angels: 30 years of radar entomology. *Acta Entomologica Sinica*, 42(3): 315－326. [翟保平，1999. 追踪天使——雷达昆虫学30年. 昆虫学报，42(3): 315－326]

(责任编辑：武晓颖)